

Física Experimental II - Experiência E11

Circuito RLC e ressonância

OBJETIVOS

- Estudo do circuito RLC alimentados com tensão senoidal.
- Ressonância no circuito RLC-série.
- Oscilações naturais no circuito LC.

MATERIAL

Osciloscópio, gerador de sinais, resistores, capacitor, indutores, multímetro, fonte DC.

INTRODUÇÃO

Circuito RLC:

A aplicação de uma tensão alternada $\varepsilon(t) = \varepsilon_m \text{sen} \omega t$ a um circuito contendo um resistor com resistência R em série com um capacitor com capacitância C e um indutor com indutância L leva ao surgimento de uma corrente elétrica estacionária dada por

$$i(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \phi), \quad (11.1)$$

sendo a amplitude I_m e o ângulo de fase ϕ dados por:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (11.2)$$

$$\phi = \text{arctg} \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \quad (11.3)$$

O fator que relaciona I_m a ε_m é a chamada *impedância* Z do circuito:

$$Z = \varepsilon_m / I_m = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (11.4)$$

As tensões no resistor, no capacitor e no indutor são dadas respectivamente por $v_R(t) = Ri(t)$, $v_C(t) = q(t)/C = (1/C) \int i(t) dt$ e $v_L(t) = L di/dt$. Substituindo a expressão da corrente de 11.1, encontramos:

$$v_R(t) = V_{0R} \text{sen}(\omega t - \phi) \quad (11.5)$$

$$v_C(t) = V_{0C} \text{sen}(\omega t - \phi - \pi/2) \quad (11.6)$$

$$v_L(t) = V_{0L} \text{sen}(\omega t - \phi + \pi/2) \quad (11.7)$$

Assim, as tensões no resistor, no capacitor e no indutor são todas funções senoidais, com a mesma frequência da tensão da fonte alimentadora, mas com diferentes *defasagens*: a tensão no resistor está sempre *em fase* com a corrente no circuito, enquanto que a tensão no capacitor está *atrasada* de 90° em relação a $v_R(t)$ e a tensão no indutor está *adiantada* de 90° em relação a $v_R(t)$. As amplitudes dessas tensões podem ser obtidas de 11.2:

$$V_{0R} = \frac{R\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (11.8)$$

$$V_{0C} = \frac{\varepsilon_m / \omega C}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (11.9)$$

$$V_{0L} = \frac{\omega L \varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (11.10)$$

Os coeficientes $X_C = V_{0C}/I_m = 1/\omega C$ e $X_L = V_{0L}/I_m = \omega L$ são respectivamente a *reatância capacitiva* e a *reatância indutiva* do circuito. Com o aumento na frequência, a reatância capacitiva diminui e, conseqüentemente, diminui a amplitude de tensão no capacitor V_{0C} ; ao mesmo tempo, com o crescimento na reatância indutiva, cresce a amplitude de tensão no indutor V_{0L} . A frequência em que essas amplitudes se igualam é dada por $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, portanto sendo igual à *frequência natural* das oscilações num circuito LC livre (sem fonte de alimentação externa). Quando a frequência da tensão alimentadora ω se iguala a ω_0 o circuito encontra-se em condição de *ressonância*, sendo a amplitude de corrente I_m e a amplitude de tensão no resistor V_{0R} , máximas para essa frequência, como pode ser facilmente observado em 11.2 e 11.8. Por essa razão a frequência ω_0 é denominada *frequência de ressonância* do circuito RLC.

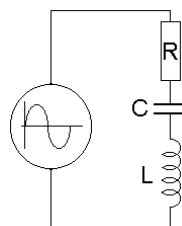
Em frequências menores que ω_0 o circuito é predominantemente *capacitivo*, sendo $X_C > X_L$ e o ângulo de fase $\phi < 0$; para $\omega > \omega_0$, o circuito passa a ser *indutivo*, com $X_L > X_C$ e $\phi > 0$. Na ressonância temos $X_C = X_L$ e $\phi = 0$, ou seja, a corrente e a tensão aplicadas estão *em fase*, sendo portanto o circuito puramente *resistivo*. Em qualquer frequência as amplitudes V_{0C} , V_{0L} e V_{0R} são relacionadas por $\varepsilon_m^2 = V_{0R}^2 + (V_{0L} - V_{0C})^2$, relação que pode, juntamente com 11.2 e 11.3, ser imediatamente obtida a partir do *diagrama de fasores* do circuito.

PROCEDIMENTOS

1. Circuito RLC-série

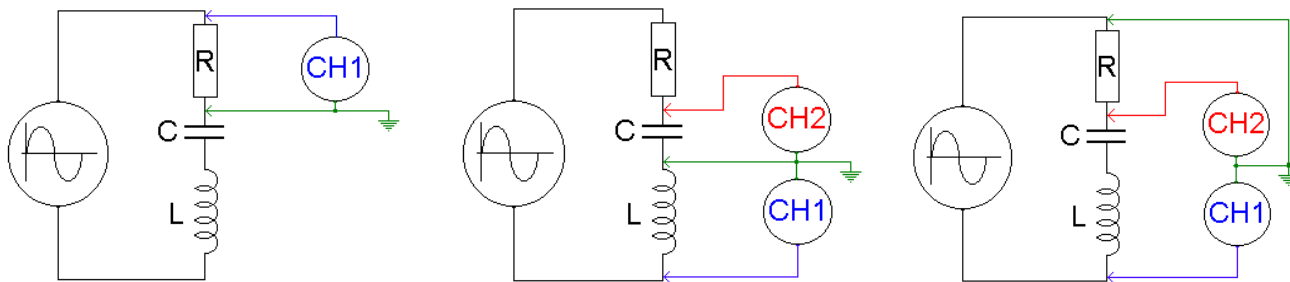
1.1 Leia (ou meça) os valores nominais de R , L e C e registre-os na Folha de Dados.

1.2 Monte um circuito RLC em série e alimente-o com uma tensão alternada senoidal (do gerador de sinais).



1.3 Utilize os três métodos a seguir para obter, a partir do período medido diretamente no osciloscópio, a frequência de ressonância f_0 do circuito RLC-série:

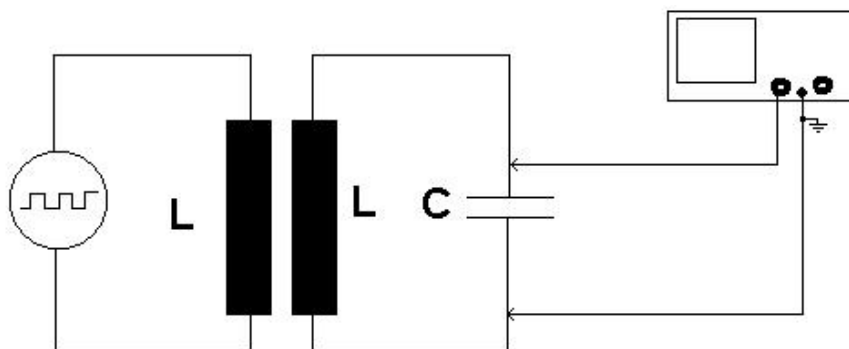
- Utilizando apenas um canal no osciloscópio, varie a frequência de alimentação até encontrar a situação em que a amplitude de tensão no resistor passa por um máximo.
- Conecte aos canais 1 e 2 do osciloscópio as tensões no indutor e no capacitor e localize a frequência em que as amplitudes de tensão se igualam. *Tome o cuidado de manter as mesmas escalas verticais nos canais 1 e 2 para efetuar essa medida.*
- Conecte aos canais 1 e 2 do osciloscópio as tensões no resistor e na fonte e localize a frequência em que essas tensões encontram-se em fase.



1.4 Escolha uma frequência fora da ressonância e meça o valor de δt (defasagem temporal entre $v_R(t)$ e $\varepsilon(t)$, ou seja, entre a corrente e a tensão). O ângulo de fase ϕ , obtido a partir de δt , juntamente com os valores de V_{0C} , V_{0L} , V_{0R} , ε_m e f serão usados no relatório para o estudo do diagrama de fasores nessa frequência.

2. Circuito LC

2.1 Alimente uma segunda bobina (externa ao circuito LC) com uma forma de onda quadrada proveniente do gerador de sinais. Coloque essa bobina próxima à própria bobina do circuito LC e ajuste o período da onda quadrada de forma que o sinal transiente do circuito LC possa ser observado com persistência na tela do osciloscópio. A partir desse sinal efetue uma outra medida da frequência natural de oscilação do circuito LC.



TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Regimes transiente e estacionário em circuitos de corrente alternada.
- Lei das malhas e diagrama de fasores no circuito RLC em série.
- Qual o significado físico da ressonância num circuito RLC.
- Como observar a ressonância e como medir o valor da frequência de ressonância no osciloscópio.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

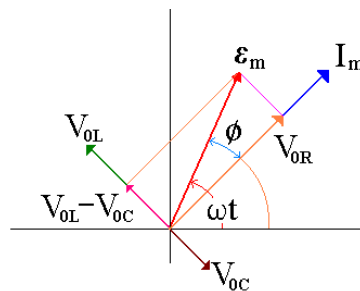
- Obter as relações 11.2 e 11.3 e a relação entre ϵ_m , V_{0C} , V_{0L} e V_{0R} , utilizando a lei das malhas no circuito RLC-série. Isso pode ser feito *algebricamente* com a substituição da corrente em regime estacionário dada por 11.1 na expressão da lei das malhas ou *graficamente* a partir do diagrama de fasores.
- Esquematizar o diagrama de fasores do circuito RLC-série numa frequência arbitrária.
- Esboçar como variam com a frequência as amplitudes de tensão, a impedância e a defasagem (entre corrente e tensão aplicada) no circuito RLC-série.
- Escrever a expressão (e esboçar um gráfico) para a carga em função do tempo num capacitor colocado em série com um indutor num circuito LC livre (com uma pequena resistência r correspondendo à resistência da bobina e dos fios de ligação). Qual a frequência natural de oscilação desse circuito?

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

1. Esquematize a montagem experimental do circuito RLC-série, indicando a posição em que foram conectados os canais 1 e 2 do osciloscópio nas diferentes medidas efetuadas.
2. Esquematize a montagem experimental do circuito LC livre, indicando como foram efetuadas as conexões da fonte DC e da bobina externa.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Faça os cálculos dos valores experimentais obtidos para a frequência de ressonância do circuito RLC-série e apresente os resultados em uma tabela para todos os **CINCO CASOS** (valor nominal, os três métodos de ressonância e o circuito LC livre), com suas respectivas incertezas. Compare o resultado do circuito LC livre com aqueles previamente obtidos (a partir dos valores nominais e as medidas diretas no osciloscópio).
- Monte diagrama de fasores do circuito RLC-série na frequência arbitrária f escolhida em 1.4. Para isso, siga os procedimentos abaixo:
 - Apresente os valores experimentais de f , ε_m , V_{0C} , V_{0L} , V_{0R} e ϕ , todos com as respectivas incertezas.
 - Monte (em uma escala conveniente num papel milimetrado) o diagrama de fasores para o circuito RLC-série, usando *somente* os valores obtidos experimentalmente para V_{0C} , V_{0L} e V_{0R} .



- Obtenha a partir desse diagrama os valores de ε_m e ϕ (graficamente ou usando relações de geometria plana). Compare com os valores encontrados experimentalmente no item 1.4.
- Calcule novamente o valor de ϕ , agora usando na equação 11.3 o valor medido de f e os valores nominais de R e C . Compare com o valor obtido no item anterior e com o valor experimental.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Qual o significado físico do fenômeno de ressonância? Explique comparando com o fenômeno similar que ocorre em diversos sistemas mecânicos.
2. Imagine que alguém lhe entregue um capacitor (ou um indutor) e lhe peça para determinar experimentalmente o valor de sua capacitância (ou indutância). Explique como os procedimentos utilizados nessa experiência podem ser aplicados para essa finalidade.
3. Como se pode concluir num circuito RLC-série, se a frequência de uma tensão senoidal aplicada está acima ou abaixo da frequência de ressonância?
4. A potência média dissipada em um circuito RLC-série pode ser escrita como $(1/2)\varepsilon_m I_m \cos\phi$, sendo o termo $\cos\phi$ chamado *fator de potência*. Quanto menor for o ângulo de fase ϕ (entre a tensão aplicada e a corrente), mais resistivo será o circuito e maior será a taxa de transferência de energia da fonte para o resistor. Explique que parâmetros do circuito podem ser ajustados na prática para se obter um valor ideal para o ângulo de fase.

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Seções 36.4 (sobre circuitos RLC-série), 36.5 (sobre potência e fatores de potência), 35.5 (sobre oscilações amortecidas no circuito LC), 35.6 (sobre oscilações forçadas e ressonância), Problemas 36.21 e 36.51 (sobre fator de qualidade).

James J. Brophy, Eletrônica Básica, pp. 73-76 (sobre circuitos RLC-série), 79-80 (sobre fator de qualidade).

José Goldemberg, Física Geral e Experimental, 2^o Vol., pp. 270-273 (sobre circuito RLC-série e fator de qualidade).

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

1.1) VALORES NOMINAIS:

$$R = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad C = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad L = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

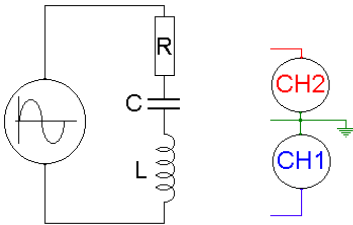
$$\omega_0 = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad f_0 = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

1.3) MEDIDA DA FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA:

$$T(V_{oRmax})_{01} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad \text{Escala de tempo utilizada: } \text{_____} (\quad)$$

$$f_{01} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

Situação a ser observada: _____

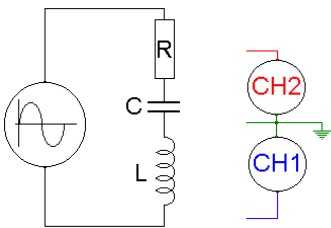


Grandeza a ser medida: _____

$$T(V_{oC} = V_{oL})_{02} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad \text{Escala de tempo utilizada: } \text{_____} (\quad)$$

$$f_{02} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

Situação a ser observada: _____

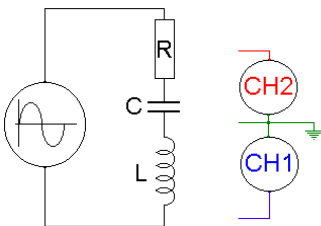


Grandeza a ser medida: _____

$$T(\Phi(\varepsilon_m, V_{oR}) = 0)_{03} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad \text{Escala de tempo utilizada: } \text{_____} (\quad)$$

$$f_{03} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

Situação a ser observada: _____



Grandeza a ser medida: _____

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

1.4) DADOS PARA MONTAGEM DO DIAGRAMA DE FASORES:

Medidas feitas com o osciloscópio

$$V_{0R} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad V_{0C} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad V_{0L} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

$$\varepsilon_m = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad T = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad \delta t = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

Medidas feitas com o multímetro

$$\varepsilon_{ef} = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad f = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$

2.2) MEDIDA DA FREQUÊNCIA NATURAL DO CIRCUITO LC LIVRE - USO DA BOBINA EXTERNA ALIMENTADA COM ONDA QUADRADA:

$$T_0 = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad) \quad \text{Escala de tempo utilizada: _____} (\quad)$$

$$f_0 = \text{_____} \pm \text{_____} (\quad)$$